

단일 및 이중 환보강 K형 관이음부의 수치해석

Numerical analysis of single and double ring-stiffened tubular K-joints

임 동 주* · 조 현 만** · 류 연 선*** · 심 원 일****

Lim, Dong-Joo · Cho, Hyun-Man · Ryu, Yeon-Seon · Shim, Won-Il

요 약

관구조물은 여러 이점으로 인해 다양한 분야에 적용되고 있으며, 관이음부의 구조강도를 증가시키기 위해 다양한 보강법이 적용되고 있다. 대형 관이음부 보강방법 중 내부 환보강재를 이용한 보강법이 사용되고 있다. 본 연구에서는 축방향력을 받는 K형 관이음부에 단일 및 이중 환보강재를 적용할 경우의 최대 응력 변화를 검토하였다. 내부 환보강재의 적용성 검토를 위해 유한요소 모델을 이용한 수치해석을 수행하였다. 각 지부재에 작용하는 하중과 내부 환보강재의 기하학적 형상에 따른 구조적 거동을 평가하였고, 수치해석 결과 환보강재의 보강효과가 정량적으로 산정되어 적용성이 검토되었다.

keywords : K형 관이음부, 환보강재, 무차원 계수, 유한요소해석

1. 서 론

관형부재(tubular member)로 구성된 관이음부의 구조강도를 증가시키기 위해 다양한 방법의 보강법이 적용되고 있다. 특히 외부 형상유지하기 위해 이음부 내부를 보강하는 방법이 요구된다. 본 연구의 목적은 내부에 환보강재가 있는 K형 관이음부의 구조적 거동을 수치실험을 통해 평가하고, 환보강재의 보강효과를 파악하는 것이다. 이를 위해 비보강 K형 이음부의 유한요소모델을 구성하여 이음부 응력을 계산하고, 단일 환보강재와 이중 환보강재를 설치한 이음부의 응력계산 결과를 통해 환보강재의 보강효과를 산정한다. 또한 보강재의 두께와 폭 변화에 대한 최대응력 분석을 수행하여 환보강재의 기하학적 특성이 이음부 강도에 미치는 영향을 분석한다.

2. K형 관이음부의 거동과 보강법

2.1. K형 관이음부

관이음부 거동은 재료적 성질과 기하학적 특성으로 나타낼 수 있는데, 기하학적 성질은 교차부재의 크기, 형상, 위치, 방향의 요소들로 표현할 수 있다. 관이음부의 기하학적 치수는 주부재의 직경(D)과 두께(T), 지부재의 직경(d)과 두께(t), 지부재의 경사각(θ)과 간격(g), 그리고 주부재의 길이(L) 등으로 나타낸다. 관이음부에서 정적강도 및 응력집중계수와 같은 구조적 거동은 기하학적 치수들을 무차원화 한 계수들과 이음부의

* 학생회원 · 부경대학교 해양공학과 석사과정 wnxorhd@nate.com

** 정회원 · 부경대학교 해양산업개발연구소 연구원 oldsea@nate.com

*** 정회원 · 부경대학교 해양공학과 교수 ynsnryu@gmail.com

**** 학생회원 · 부경대학교 해양공학과 석사과정 blueisland12@nate.com

종류에 따라 표현된다. 이음부의 기하학적 무차원 계수에는 주부재의 길이계수($\alpha=2L/D$)와 직경비($\beta=d/D$), 반경-두께비($\gamma=D/2T$), 두께비($\tau=t/T$), 지부재의 간격계수($\zeta=g/D$)가 있다. 그림 1은 내부에 환보강재가 설치된 K형 관이음부의 대표적 형상이다.

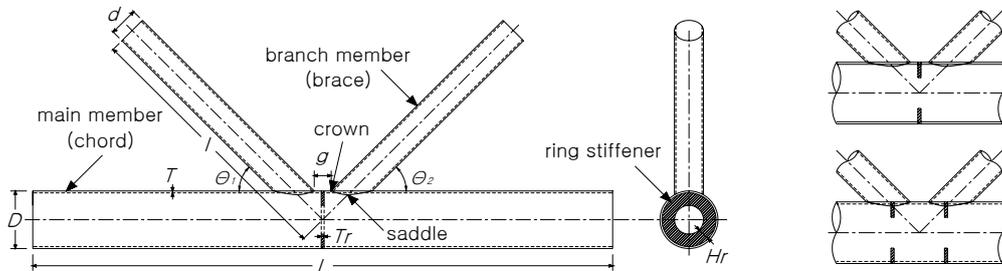


그림 1 단일 환보강 및 이중 환보강 K형 이음부

관이음부의 구조강도를 증가시키는 보강법은 다양하고, 그 중에서도 관이음부 내부에 환보강재를 삽입하는 방법은 X형, T형 관이음부의 구조강도를 증가시키는 효과를 나타내었다. 환보강재와 관련된 무차원 계수로는 주부재와 보강재의 두께비($\xi=T_r/T$)와 폭비($\eta=H_r/D$)가 있다. 여기서 H_r 은 환보강재의 폭이고, T_r 은 환보강재의 두께다. 본 연구의 대상이 되는 환보강 이음부는 단일 환보강 이음부와 이중 환보강 이음부이다. 단일 환보강 이음부는 주부재와 지부재의 교차부위에 한 개의 환보강재가 위치하는 것이고, 이중 환보강 이음부는 두 개의 환보강재가 새들(saddle)점에 설치된 것이다.

2.2. 대상 구조물

본 연구에서 검토하고자 하는 해석 대상 구조물의 재료적 성질은 탄성계수 E 는 $2 \times 10^5 \text{MPa}$, 프와송비 ν 는 0.3이며, 기하학적 특성은 표 2와 같다. 그리고 지부재 중심선의 교차점이 주부재의 중심선 상에 위치하므로, 편심 e 는 0이다.

표 1 대상 구조물의 기하학적 특성

Main member (mm)		Branch member (mm)		g	θ_1	θ_2	Non-dimensional parameter			
D	T	d	t				β	γ	τ	ζ
600	10	300	7	34.32	45°	45°	0.5	30	0.7	3.43

3. 수치해석 방법과 유한요소 모델링

관이음부의 거동을 해석하기 위해 사용할 수치해석프로그램은 유한요소해석 프로그램인 ANSYS이다. 관형부재의 모델링을 위해 모델 편의성과 해석시간의 경제성을 고려하여 셸(Shell)요소를 사용하였다. 모델링에서 사용된 요소는 8절점 구조용 셸요소로 절점당 6개의 자유도(3축에 대한 이동과 회전자유도)를 가진다. 유한요소망 제작 시에는 기하학적 대칭성을 이용하여 전체 구조물의 1/2만을 모델링하였고, 주부재의 단부변형을 방지하고, 연속성 효과를 적용하기위해 격벽을 단부에 설치하였다. 또한 응력집중현상이 예상되는 부재 교차부에는 상대적으로 작은 크기의 요소를 사용하여 모델링하였다. 유한요소망의 형상은 그림 2와 같다.

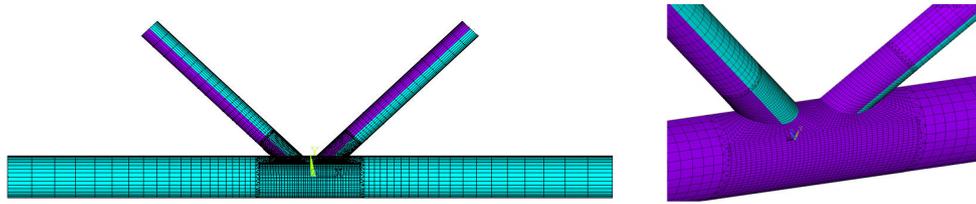


그림 2 유한요소망의 형상

4. 수치해석 결과

4.1. 비보강 이음부의 해석결과

비보강 K형 이음부의 최대응력은 표 2와 같다. 이음부의 최대응력은 두 가지의 하중상태를 고려하여 각각 계산하였다. 첫째는 지부재 모두에 압축력이 재하되는 경우(C-C)이고, 두 번째는 한 부재는 압축력, 다른 부재는 인장력이 재하되는 경우(C-T)이다. 지부재에 인장력이 재하되는 경우에는 압축력의 경우(T-T)와 동일한 결과가 나타났다.

표 2 비보강 K형 이음부의 최대응력

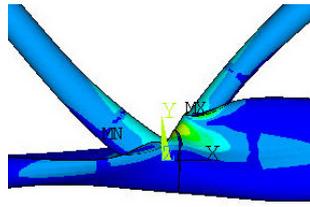
Loading condition	Max. von Mises Stress (MPa)	Max. principal Stress (MPa)	Location of max. Stress
C-C or T-T	9.202	10.591	Saddle Point
C-T	27.745	31.644	Crown Point

4.2. 단일 및 이중 환보강 이음부의 해석결과

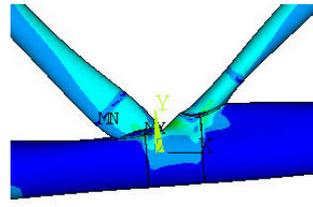
환보강재의 체적을 0.005m³로 설정하여 하중조건별 5가지 케이스를 구성하여 수치해석을 수행하였다. 표 3과 같이 이중 환보강 이음부의 경우는 최대 von Mises 응력이 최대 29% 가량 감소했으나 단일 환보강 이음부의 경우에는 보강효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 그림 3과 4는 최대응력의 분포를 보여준다.

표 3 단일 및 이중 환보강 이음부의 수치해석 결과

Loading condition	H _r (mm)	n	Single ring-stiffener				Double ring-stiffeners			
			T _r (mm)	ξ	Max. Stress(MPa)		T _r (mm)	ξ	Max. Stress(MPa)	
					Saddle	Crown			Saddle	Crown
C-C or T-T	0	0	0	0	9.202	5.181	0	0	9.202	5.18
	50	0.1	29	2.9	5.728	5.943	14.5	1.45	6.237	6.256
	100	0.2	16	1.6	4.889	8.675	8.0	0.80	5.656	6.737
	150	0.3	12	1.2	4.782	8.912	6.0	0.60	5.554	6.812
	200	0.3	10	1.0	4.768	8.980	5.0	0.50	5.527	6.827
	250	0.4	9	0.9	4.770	9.002	4.5	0.45	5.519	6.831
C-T	0	0	0	0	21.423	27.745	0	0	21.423	27.745
	50	0.1	29	2.9	21.186	28.828	14.5	1.45	15.510	24.149
	100	0.2	16	1.6	21.251	28.494	8.0	0.80	14.270	21.182
	150	0.3	12	1.2	21.310	28.239	6.0	0.60	13.804	20.008
	200	0.3	10	1.0	21.343	28.097	5.0	0.50	13.669	19.594
	250	0.4	9	0.9	21.357	28.035	4.5	0.45	13.632	19.442



(a) 단일 환보강 이음부



(b) 이중 환보강 이음부

그림 3 환보강 K형 이음부의 응력분포(C-T, $H_f=150\text{mm}$)

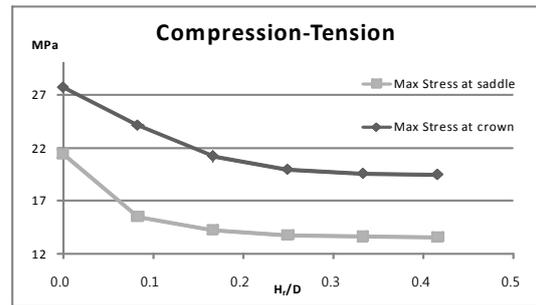
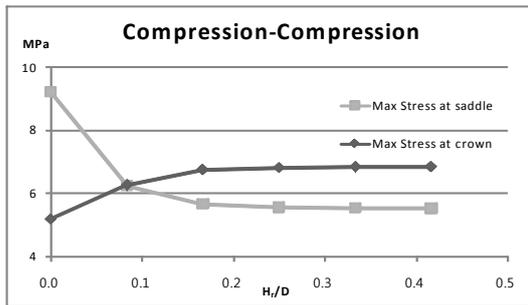


그림 4 이중 환보강 이음부의 최대 응력

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 내부에 환보강재가 있는 K형 관이음부의 구조강도를 수치실험을 통해 평가하고, 환보강재의 보강효과를 검토해 보았다. 기존 연구에서 X형이나 T형 관이음부의 경우에는 단일 환보강 이음부가 구조강도를 증가시키는 효과를 가졌으나, 본 연구 결과 K형 이음부에서는 단일 환보강재의 경우 하중상태에 따라 일부에서 보강효과가 발생하였고, 이중 환보강재의 경우에는 최대응력의 최대 29% 감소하는 효과가 발생하였다. 따라서 K형 이음부의 경우에는 환보강재의 사용 물량보다 배치에 따라서 보강효과가 달라짐을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2008년 부경대학교 교내연구비 지원사업으로 이루어진 것으로, 본 연구를 가능케 한 학교당국에 감사드립니다.

참고문헌

- 조현만, 류연선 (2004) 내부 환보강 T형 관이음부의 정적강도, **한국해양공학회지**, 18(6), 70-74.
- 조현만, 류연선 (2005) 환보강 X형 관이음부의 정적강도에 관한 수치적 연구, **한국전산구조공학회 논문집**, 18(3), 265-275.
- D.Dutta (2002) Structures with Hollow Sections, *Ernst & Sohn*, Berlin.
- X.L.Zhao, T.Wilkinson, G.Hancock (2005) Cold-Formed Tubular Members and Connections: Structural Behaviour and Design, *Elsevier, Amsterdam*.
- Y.Makino, Y.Kurobane, K.Ochi, G.J.V.D.Vegte, S.R.Wilmschurst (1995) Database of test and numerical analysis results for unstiffened tubular joints, Kumamoto University.